Eine neue Methode zur Untersuchung langer Knochen und ihre Anwendung auf das Femur

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Rudolf Michel

aus Frankfurt am Main

Braunschweig

Druck von Friedrich Vieweg und Sohn

1903

Eine neue Methode zur Untersuchung langer Knochen und ihre Anwendung auf das Femur

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Rudolf Michel

aus Frankfurt am Main

Braunschweig

Druck von Friedrich Vieweg und Sohn

1903

Durch die Funde von Neandertal und Spy, sowie die Entdeckung des Pithecanthropus auf Java rückten die Femora in den Vordergrund des Interesses, weil bei den drei Funden außer Bruchstücken vom Schädel auch einige Femora ziemlich gut erhalten waren.

Bei dem Streit über die systematische Stellung der Träger dieser Femora zeigte es sich, daß die Kenntnis des menschlichen Femur doch noch nicht weit genug entwickelt ist, um jede der auftauchenden Fragen zu beantworten.

Die hierüber vorhandene ältere Literatur findet sich verzeichnet bei Hermann Klaatsch: „Die fossilen Knochenreste des Menschen und ihre Bedeutung für das Abstammungsproblem“ [1]).

Der Zweck der vorliegenden Arbeit ist es nun, die Kenntnis des Femur zu erweitern, und zwar auf Grund einer neuen Methode.

Die moderne Naturforschung verfügt ja bereits über eine große Anzahl von guten und bewährten Untersuchungsmethoden, so daß es unnötig erscheinen mag, deren Zahl noch zu vermehren; allein je größer die Auswahl der Wege ist, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, das Ziel zu erreichen.

Dieses Ziel aber ist eine möglichst eingehende Erkenntnis der Naturerscheinungen. Es wird daher ein Verfahren um so eher Eingang finden, je genauer es diese zur Darstellung bringt.

Die vorliegende Arbeit zeigt einen Versuch, die Gestaltung der langen Knochen durch Herstellung von Querschnittserien festzulegen und mechanisch zu erklären.

Sie verdankt ihre Entstehung den Anregungen des Herrn Prof. Dr. Joh. Ranke und wurde unter seiner Leitung im Anthropologischen Institut in München ausgeführt.

Zunächst wurde nur das Femur untersucht, und zwar in der Weise, daß planmäßig Serien von Querschnitten aufgenommen wurden. Es folgte dann die Betrachtung und Messung dieser Querschnitte, und darauf begründet die mechanische Würdigung dieser Figuren.

Durch diese Art der Untersuchung ist zugleich ein neues Element in die anthropologische Messung eingeführt worden, nämlich das Flächenmaß. Während Gewicht-, Raum-, Längen- und Winkelmaße schon von jeher der Anthropometrie dienen mußten, ist dieses bisher wenig zur Anwendung gekommen.

Die Serien der Umrißzeichnung bieten aber auch die Möglichkeit, den Knochen mit ziemlicher Genauigkeit zu rekonstruieren. Sie haben damit einen bedeutenden Vorsprung vor den auf andere Weise erhaltenen Angaben über die Gestalt des Knochen. Der Grad der Genauigkeit ist dabei lediglich abhängig von der Zahl der Schnitte.

---

[1]) Ergebn. d. Anat. u. Entw. Bd. IX, S. 415—496. Wiesbaden, J. F. Bergmann, 1892.

Verfahren.

Ursprünglich bestand die Absicht, die Knochenquerschnitte dadurch zu erlangen, daß man die Knochen selbst oder, da es sich zum Teil um sehr wertvolles Material handelte, ihre Gipsabgüsse in eine größere Anzahl von Teilen zerschnitt.

Es wurden auch tatsächlich Gipsabgüsse einer Anzahl von Knochen hergestellt, die dann mit einem gut ausgeglühten gezwirnten Eisendraht zerschnitten wurden. Aber abgesehen von den Unannehmlichkeiten, die die Verwendung von Gips und Leim mit sich brachte, hafteten dem Verfahren noch andere Mängel an. Zunächst bereitete es einige Schwierigkeit, die einzelnen Schnitte parallel zu legen. Es wurde das schließlich dadurch erreicht, daß der Abguß in Ton eingebettet und auf einem Brett festgelegt wurde. Dieses wurde dann in eine Schneidlade gebracht und nach jedem Schnitt um ein entsprechendes Stück vorgeschoben.

Ein anderer Nachteil bestand darin, daß die Schnitte nicht beliebig dicht gelegt werden konnten, denn die Rücksicht auf die Festigkeit des Materials ließ es untunlich erscheinen, die einzelnen Abschnitte allzu dünn werden zu lassen. Außerdem ging jedesmal die Schnittbreite, die ziemlich bedeutend ist, verloren. Endlich gab auch das Abzeichnen Veranlassungen zu Fehlern und Ungenauigkeiten.

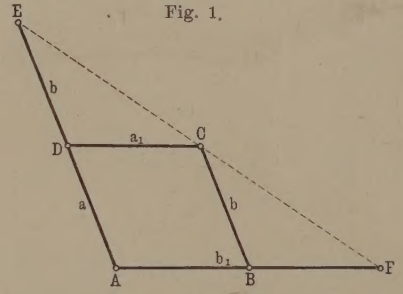
Alle diese Unannehmlichkeiten fielen fort, nachdem es gelungen war eigens für diesen Zweck einen Zeichenapparat zu konstruieren, der die Umrisse auf einfache Weise zu Papier brachte, ohne daß der Knochen zerschnitten werden mußte. Dieser Apparat beruht auf dem Prinzip des Storchschnabels.

In Fig. 1 sei ein solcher schematisch dargestellt. Die vier Stäbe aa_1bb_1 seien in den Punkten $ABCD$ beweglich miteinander verbunden.

Wenn dann a parallel b und a_1 parallel b_1 ist, und das Verhältnis $a:b = a_1:b_1$ besteht, so bleiben die Dreiecke DCE und BFC einander ähnlich, wie man auch die Stäbe verschieben mag. Ebenso liegen die Punkte E, C und F stets auf einer geraden Linie. Aus der Ähnlichkeit der beiden Dreiecke ergibt sich dann ein konstantes Verhältnis der veränderlichen Strecken x und y, nämlich $\frac{x}{y} = \frac{a}{b-a}$.

Dies führt zu folgender Anwendung: Legt man den Punkt C fest, so folgt Punkt E jeder Bewegung des Punktes F. Beide Punkte beschreiben ähnliche Figuren, die sich verhalten wie ihre Abstände vom Drehpunkt, also wie $x:y$ oder wie $a:(b-a)$, man hat es also mit

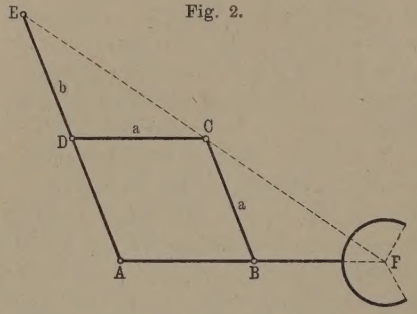
Fig. 1.



dem Apparat in der Hand, den Knochenquerschnitt in jedem beliebigen Maßstab zu zeichnen.

Bis hierher ist dies der einfache Storchschnabel. Da man aber mit dem Punkte F auf dem Stabe b keinen Körper umfahren kann, so mußte hier eine besondere Anordnung Platz greifen, wenn man die Umrisse erlangen wollte, ohne den Knochen zu zerschneiden. Dies wurde auf folgende Weise ermöglicht:

Fig. 2.



Der Stab wurde an seinem Ende so ausgebildet, wie es Fig. 2 zeigt. Der mit F bezeichnete Punkt entspricht dem Punkt F in Fig. 1. Die Strahlen werden durch aufklappbare Stäbe dargestellt, deren Spitzen in F endigen. Durch diese Anordnung wird es in jeder Lage möglich sein, mit einem der Stifte die Oberfläche des Körpers zu berühren. Man umfährt nun mit der Spitze des Stiftes den

Körper so lange als möglich, läßt dann diesen Stift fallen und setzt das Umfahren mit dem nächsten Stift fort.

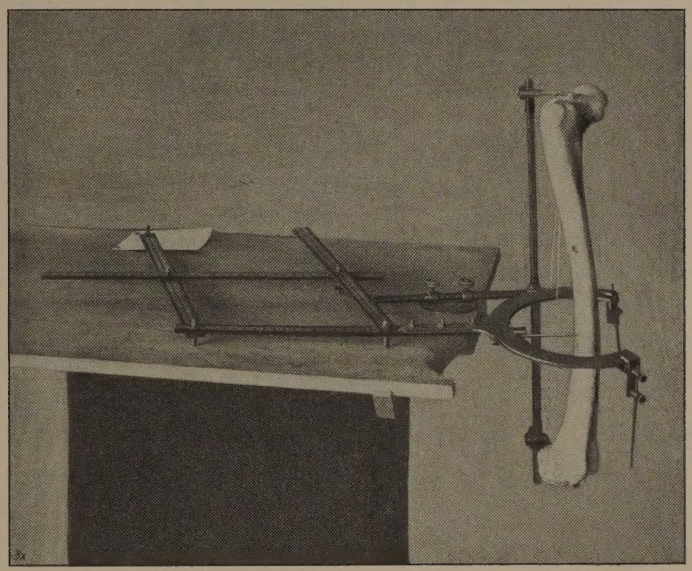
Da die Spitze des gerade benutzten Stiftes im Verhältnis zum Stabe immer am gleichen Punkte bleibt, so wird Punkt *E* den genauen Umriß des Körpers im entsprechenden Maßstab aufzeichnen. Der Apparat funktioniert also genau so, wie wenn der Punkt *F* selbst um den Körper geführt worden wäre.

Die Abbildung Fig. 3 zeigt den Apparat in Tätigkeit.

Ein anderer Teil des Apparates ist der Knochenhalter. Fig. 3 zeigt denselben mit einem eingespannten Knochen. Er besteht aus einer Stange mit quadratischem Querschnitt, an der zwei mit Spitzen versehene Arme beweglich angebracht sind. Die Stange selbst ist auch wieder verschiebbar befestigt und ermöglicht daher ein Auf- und Abwärtsbewegen des Knochens ohne seitliche Verschiebung. Der Knochen behält also seine Lage im Verhältnis zu einer beliebigen gewählten Vertikalen. Man ist demnach imstande, die einzelnen Umrisse zu orientieren, wenn man in jeden Umriß ein beliebiges, aber für eine Serie immer das gleiche Achsenkreuz einzeichnet.

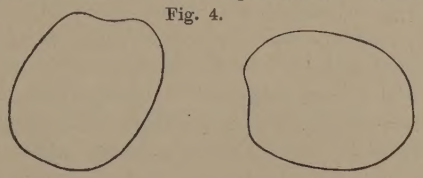
Die große Bedeutung dieser Orientierung für eine richtige Beurteilung der Querschnitte zeigt die untenstehende Abbildung. Die beiden Figuren sind Femurquerschnitte, und zwar *a* vom Menschen, *b* vom Orang-Utan (♂). Sie stimmen in Gestalt und Größe fast vollständig überein, aber ihre Stellung ist gänzlich verschieden. Die Abbildung gibt beide in richtiger Stellung wieder, dabei ist die ventrale Seite dem Beschauer zugekehrt.

Fig. 3.



Um die Querschnitte bei den verschiedenen Knochen immer an entsprechende Stellen zu legen, wurde die ganze Länge des Femur in 50 Teile geteilt und die Schnitte jedesmal in dem Teilpunkt durch den Knochen gelegt. Von dieser Anordnung wurde nur bei den Knochen abgewichen, die im Skelett montiert bleiben mußten und deshalb nicht in den Knochenhalter eingespannt werden konnten.

Fig. 4.



a b

Zusammenstellung der erhaltenen Querschnitte.

Die Querschnittfiguren wurden in den Tafeln in der Weise zur Darstellung gebracht, daß die Schnittebenen einzeln um senkrecht übereinander liegende Achsen gedreht wurden, bis sie rechtwinklig zu ihrer natürlichen Lage standen.

Der Gleichmäßigkeit wegen und um die Unterschiede in der sagittalen Durchbiegung der Femora zu zeigen, wurden diese Achsen rechtwinklig zu der Ebene gelegt, die durch die beiden Kondylen geht. Die Abstände dieser Achsen sind gleich $^1/_{50}$ der natürlichen Länge des Femur.

Will man also eines der dargestellten Femora rekonstruieren, so zeichnet man in beliebiger Lage eine Schar von Parallelen mit den besagten Abständen und schwenkt die Schnittfiguren um entsprechende Linien, bis sie rechtwinklig zu ihrer jetzigen Lage stehen. Je nachdem man dann nach der einen oder der entgegengesetzten Seite schwenkt, erhält man das rechte oder das linke zweier einander genau entsprechender Femora.

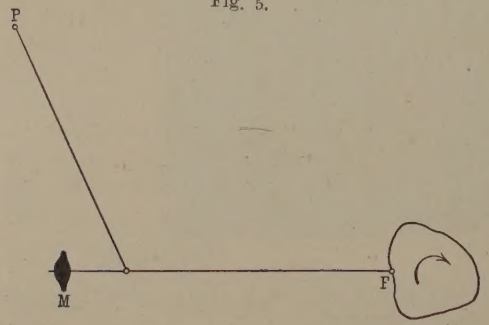
Die Querschnitte in den Tafeln sind alle von oben und außen gesehen.

Beschreibung der Querschnitte.

I. Kapitel. Die Größe der Querschnitte.

Zur Ermittelung der Flächengrößen der Querschnitte wurde ein Polarplanimeter von Amsler-Laffon gebraucht (Fig. 5). Das Instrument besteht der Hauptsache nach aus dem

Fig. 5.



Polarm, der sich um einen festen Punkt, den Pol, dreht, dem Fahrarm, der am Polarm beweglich befestigt ist und den Fahrstift trägt, und der Meßrolle, die so befestigt sein muß, daß ihre Achse parallel zum Fahrarm läuft.

Wenn man nun mit dem Fahrstift eine Fläche umfährt, so ist der Inhalt dieser Fläche gleich dem Produkt aus der Länge des Fahrarms und dem abgewälzten Teile der Meßrolle. Der mathematische Nachweis hierfür liegt jedoch außerhalb des Rahmens dieser Arbeit. Um den Inhalt in einer bestimmten Einheit, z. B. Quadratzentimeter, angeben zu können, muß der Fahrarm auf eine entsprechende Länge eingestellt werden.

Die Handhabung des Planimeters ist sehr einfach. Die zu messende Figur wird, von einem beliebigen Punkte des Umfanges ausgehend, mit dem Fahrstift umfahren. Mit Rücksicht auf die Einteilung der Meßrolle ist dabei die Richtung im Sinne der Bewegung des Uhrzeigers einzuhalten. Die Meßrolle gibt sodann den genauen Inhalt der umfahrenen Fläche an.

Auf diese Weise wurde die Größe sämtlicher Querschnitte gemessen. Tabelle I gibt diese Größen für die menschlichen Femora in absoluten Zahlen an.

Es zeigt sich, daß bei allen Knochen trotz der veränderlichen Gestalt ein Mittelstück besteht, das einen Querschnitt von gleichbleibender Größe hat.

Ein interessantes Ergebnis lieferte eine Betrachtung der Beziehung des Körpergewichtes zur Fläche des Querschnittes. Die Kinder, deren Femur untersucht wurde, hatten etwa ein Alter von 3 und $4^1/_2$ Jahren. Nach der Tabelle über das Körpergewicht deutscher Kinder in Prof. J. Rankes „Der Mensch“, II. Bd., S. 155 beträgt deren Gewicht 12,7 und etwa 15 kg. Ebenda S. 154 wird das Gewicht des erwachsenen Mannes zu 63,7 kg angegeben.

Vergleicht man diese Werte mit den Femurquerschnitten, so ergibt sich:

Alter	3	$4^1/_2$	Erwachsen
Gewicht	12,7	15	63,7
„ ohne Beine . .	11	13	55
Querschnitt	1,1	1,3	5,5
Belastung/qcm	10 kg	10 kg	10 kg

Tabelle I.

Nummer des Querschnitts	Erwachsene Menschen				Nr. des Querschnitts	Kinder		
	1	2	3	4		$4^1/_2$ jährig		3 jährig
10	7,1	9,0	6,5	—	1	2,9	1	2,9
11	6,85	7,85	6,2	5,0	2	2,3	2	2,5
12	6,85	7,3	6,0	4,9	3	1,9	3	1,7
13	6,85	6,9	5,7	4,8	4	1,7	4	1,45
14	6,8	6,6	5,6	4,65	5	1,6	5	1,3
15	6,8	6,3	5,4	4,5	6	1,5	6	1,2
16	6,8	6,15	5,3	4,3	7	1,4	7	1,2
17	6,8	6,0	5,2	4,2	8	1,3	8	1,1
18	6,8	6,0	5,2	4,1	9	1,3	9	1,1
19	6,8	6,0	5,0	4,0	10	1,3	10	1,1
20	6,8	6,0	5,0	4,0	11	1,3	11	1,1
21	6,8	6,0	5,0	4,0	12	1,3	12	1,1
22	6,8	6,0	5,0	4,0	13	1,3	13	1,2
23	6,8	6,0	5,0	4,0	14	1,4	14	1,2
24	6,8	6,0	5,0	4,0	15	1,6	15	1,3
25	6,8	6,0	5,0	4,0	16	1,8	16	1,5
26	6,8	6,0	5,0	4,0	17	2,1	17	1,6
27	6,8	6,0	5,0	4,0	18	2,7	18	1,8
28	6,85	6,0	5,0	4,1	19	3,0	19	2,0
29	7,1	5,9	5,0	4,2	20	3,6	20	2,3
30	7,35	6,0	5,0	4,3	21	4,2	21	2,7
31	7,6	6,0	5,0	4,35	22	4,8	22	3,2
32	7,8	6,0	5,2	4,4			23	4,1
33	8,2	6,1	5,6	4,5			24	5,0
34	8,5	6,2	5,8	4,6				
35	8,7	6,4	6,3	4,75				
36	9,2	6,5	6,6	5,0				
37	9,5	6,9	6,9	5,2				
38	9,8	7,2	7,2	5,5				
39	10,5	7,5	7,5	5,7				
40	11,45	7,9	7,8	6,0				

Es zeigt sich also eine annähernd gleiche Querschnittsbelastung pro Flächeneinheit in den verschiedenen Altersstufen.

Dabei wurde das Gewicht des Beines eines Erwachsenen nach Dr. J. Feßler[1]) gleich 8,6 kg gesetzt und beim dreijährigen Kinde zu etwa 1,7, beim fünfjährigen zu etwa 2 kg angenommen. Leider genügte das vorhandene Material nicht, um diese Verhältnisse näher zu erforschen und auch auf die Affen auszudehnen.

Das Vorhandensein eines Mittelstückes mit gleich großem Querschnitt ergibt sich auch aus der Betrachtung der Tabelle IIa, welche die entsprechenden Zahlen für einige Affen enthält.

Auch die Tabelle IIb mit den Angaben für die beiden Femora aus dem Neandertal und das Femur von Spy zeigt dasselbe Bild. Zu den Querschnitten des letztgenannten Femur ist noch zu bemerken, daß zwischen den größeren Querschnitten auch einzelne kleinere eingesprengt sind. Da nun die Ziffern, welche die großen Flächen ergeben, volle Übereinstimmung zeigen mit allen übrigen Femora, so wurde angenommen, die kleineren Querschnitte seien die Folge von Beschädigungen. Dies wird auch bei näherer Betrachtung sehr wahrscheinlich.

Die betreffenden Zahlen sind in Klammern gesetzt.

Um einen Maßstab für die Größe der Zunahme nach oben und unten zu bekommen, wurde der mittlere, gleichbleibende Querschnitt gleich 100 gesetzt und die übrigen Werte hierzu

[1]) Festigkeit der menschlichen Gelenke, S. 70.

Tabelle II.

Nummer der Querschnitte	Orang ♀	Orang ♂	Gorilla	Hylobates	Neandertal rechts	Neandertal links	Spy	Indri	
10	3,0	7,0	11,35	0,72	8,0	7,1	7,4	1	1,1
11	2,85	5,9	8,7	0,7	7,6	6,8	7,1	2	1,075
12	2,8	5,5	8,2	0,69	7,4	6,6	7,0	3	1,025
13	2,75	5,25	8,0	0,675	7,2	6,5	6,9	4	1,0
14	2,6	5,0	7,8	0,675	7,0	6,4	6,7	5	1,0
15	2,1	4,9	7,6	0,675	6,75	6,4	6,7	6	0,95
16	2,7	4,8	7,5	0,65	6,6	6,4	6,5	7	0,95
17	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	6,5	8	0,95
18	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	(6,0)	9	0,95
19	2,7	4,8	7,4	—	6,5	6,35	(6,1)	10	0,95
20	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	(6,2)	11	0,925
21	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	6,5	12	0,95
22	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	(6,3)	13	0,95
23	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	6,5	14	0,95
24	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	6,5	15	0,95
25	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	6,5	16	0,925
26	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	(6,4)	17	0,95
27	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	6,5	18	0,95
28	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,5	(6,3)	19	1,0
29	2,7	4,9	7,4	0,65	6,5	6,6	(6,4)	20	1,0
30	2,73	5,0	7,4	0,65	6,5	6,7	6,5	21	1,0
31	2,8	5,2	7,4	0,65	6,7	6,8	6,5	22	1,025
32	2,9	5,3	7,4	0,65	6,85	7,0	6,6	23	1,05
33	3,1	5,5	7,4	0,65	7,0	7,2	7,0	24	1,075
34	3,2	5,6	7,4	0,675	7,2	7,5	7,3	25	1,075
35	3,4	5,8	7,5	—	7,5	7,8	7,8	26	1,125
36	3,55	6,0	7,7	0,725	7,9	8,1	8,2		
37	3,75	6,3	8,0	0,75	8,3	8,5	8,4		
38	3,9	6,5	8,3		8,7	9,0	9,0		
39	4,1	6,8	9,0		9,1	9,6	(9,1)		
40	—	7,0	11,0		9,6	10,6	9,9		

in Beziehung gebracht. Die betreffenden Zahlen sind in Tabelle III zusammengestellt.

Betrachtet man zunächst das obere (proximale) Ende, so ergibt sich, daß eine Vergrößerung des Querschnittes bei den verschiedenen Knochen an ganz verschiedenen Stellen eintritt.

Bei drei menschlichen Femora z. B. schon in Schnitt 18, bei einem im 16., bei dem stärksten im 13. Schnitt. Der Eintritt der Verstärkung kann also innerhalb einer Art um $^5/_{50}$, gleich $^1/_{10}$, der ganzen Länge des Femur schwanken. Am häufigsten scheint der 15. oder 16. Schnitt bevorzugt zu sein.

Ebenso verschieden wie ihr Eintritt ist die Größe der Zunahme. Im Fall 1 beträgt sie nach vier Schnitten 4,3 Proz., im Fall 2 dagegen nach der gleichen Zahl von Schnitten schon 15 Proz.

Auch am unteren (distalen) Ende tritt die Vergrößerung verschieden ein. Die größte Schwankung beim Menschen beträgt ebenfalls fünf Schnitte oder $^1/_{10}$ der Gesamtlänge. Am spätesten von allen tritt sie beim Gorilla ein mit Schnitt 34. Auch die Größe der Flächenzunahme ist ähnlichen Schwankungen unterworfen. Aber auch die Länge des gleichbleibenden Teiles schwankt beim Menschen zwischen 18 und 32 Proz. der Länge.

Um einen Anhalt für das Verhältnis der Länge zum Querschnitt zu haben, wurde die Länge gleich 1000 gesetzt und der mittlere Querschnitt danach umgerechnet. Diese Werte sind in der gleichen Tabelle unten angegeben.

Tabelle III.

Nummer des Querschnitts	Erwachsene Menschen				Kinder				Orang		Gorilla	Hylobates	Neandertal		Spy	Indri	
	1	2	3	4	4½jährig		3jährig		♀	♂			rechts	links			
10	104,3	150	130	—	1	233	1	263,4	111	145,7	152	115	123	111,8	114	1	115,8
11	100,8	131	124	125	2	184,5	2	227	105,5	122,8	117,5	107,8	116,8	107,1	109,2	2	113,2
12	100,8	121,7	120	122,5	3	146,1	3	154,5	103,6	114,5	110,8	105,9	113,8	104	107,6	3	108
13	100,8	115	114	120	4	130,8	4	131,7	101,8	109,3	108,2	103,8	110,8	102,3	106,1	4	105,2
14	100	110	111	116,5	5	123	5	113,6	100	104,1	105,4	103,8	107,8	100,8	103	5	105,2
15	100	105	108	112,5	6	115,6	6	109,1	100	102	102,7	103,8	102,3	100,8	103	6	102,7
16	100	102,5	106	107,5	7	107,6	7	109,1	100	100	101,4	103,8	101,5	100,8	100	7	100
17	100	100	104	105	8	100	8	100	100	100	100	100	100	100	100	8	100
18	100	100	104	102,5	9	100	9	100	100	100	100	100	100	100	100	9	100
19	100	100	100	100	10	100	10	100	100	100	100	100	100	100	(98,3)	10	100
27	100	100	100	100	9	100	11	100	100	100	100	100	100	100	100	13	100
28	100,8	100	100	102,5	10	100	12	100	100	100	100	100	100	102,3	(97)	14	100
29	104,3	98,3	100	105	11	100	13	109,1	100	102	100	100	100	104	98,5	15	100
30	108,1	100	100	107,5	12	100	14	109,1	101	104,1	100	100	100	105,5	100	16	97,3
31	111,7	100	100	108,7	13	100	15	118,1	103,6	108,2	100	100	103	107,1	100	17	100
32	114,7	100	104	110	14	107,6	16	136,3	107,3	110,3	100	100	103,5	110,2	101,5	18	102,7
33	120,5	101,7	112	112,5	15	123	17	145,3	117,5	114,5	100	100	107,8	113,2	107,6	19	102,7
34	125	103,3	116	115	16	138,3	18	163,5	118,5	116,6	100	103,8	110,8	118,1	112,2	20	105,2
35	127,8	106,7	126	118,7	17	161,5	19	181,8	129,5	120,8	101,4	—	115,3	122,7	120	21	105,2
36	135,2	108,3	132	125	18	207,3	20	218,2	131,5	125	104	115	121,5	127,5	126	22	108
37	139,6	115	138	130	19	230,3	21	245,2	138,5	131,2	108	115,3	127,6	133,8	129,1	23	110,5
38	144,1	120	144	137,5	20	276,8	22	290,3	144	135,4	112,1		133,8	141,7	138,4	24	113,2
39	154,5	125	150	142,5	21	323	23	372,2	163	141,5	121,5		140	151	—	25	113,2
40	168,5	130	156	150	22	369	24	454	—	145,8	148,6		147,5	167	152,3	26	118,5
Länge	500	442	460	421		240		197	249	303	392	217	440	441	126		243
Querschnitt . . .	6,8	6,0	5,0	4,0		1.3		1,1	2,7	4,8	7,4	0,65	6,5	6,35	6,5		0,95
Querschnitt für Länge 1000	272	308	238	226		226		309,5	436	513	482	138	335	326	359		161
Länge des gleichbleibenden Diaphysenstücks in Proz.	28	32	26	18		19,3		24	32	26	36	32	28	22	30		34,4

Es zeigt sich da, daß dieser Wert beim Menschen zwischen 2,26 und 309,5 schwankt, also um etwa 70 Proz. Es wird daher kaum befremden, wenn die Femora aus dem Neandertal und Spy noch etwas höhere Werte zeigen.

Wesentlich höhere relative Werte ergeben die Femora der Orang-Utan 436 und 513 und des Gorilla 482, während die Femora des Gibbon und des Indri wesentlich hinter den menschlichen zurückbleiben, ja kaum die Hälfte der größeren relativen Flächen des Menschen erreichen.

Um die Veränderung der Größe der Femurquerschnitte noch deutlicher zu zeigen, wurden die betreffenden Daten graphisch dargestellt, Tafel I bis III.

Auf einer wagerechten Grundlinie wurden in gleichen Abständen Senkrechte errichtet, auf denen dann die Größen der Querschnitte aufgetragen wurden, und zwar wurde 1 qcm durch 1 cm dargestellt. Die Endpunkte dieser Senkrechten sind dann miteinander verbunden, und es entsteht dadurch eine Kurve, die übersichtlicher als jede Tabelle die Veränderungen erkennen läßt. Diese Kurve steigt bei allen Femora nach beiden Seiten hin an. Sie zeigt meist einen stetigen Verlauf.

Bei der menschlichen Kurve nähert sich häufig der distale Zweig der Kurve einer Geraden.

Häufig tritt auch später eine stärkere Krümmung der Kurve ein, bedingt durch die zuletzt sich steigernde Zunahme der Flächen.

II. Kapitel. Die Gestaltung der Femurquerschnitte.

I. Das menschliche Femur.

Zu Tafel IV und V.

Das auf Tafel IV dargestellte Femur, Fig. 1, stammt aus dem Ossuarium von Chammünster. Es hat eine Länge von 500 mm und ist im ganzen kräftig gebaut. Der Schaft des Knochens ruht auf einer Grundfläche von der Form eines nahezu rechtwinkligen Dreieckes mit stark abgerundeten Ecken. Die größere Kathete liegt ventral und verläuft transversal.

Durch stärker werdende Abrundung geht diese Form allmählich in eine schiefbirnförmige über, gleichzeitig erscheint am Bauch der Birne eine dorsal stehende Nase (37). Hierdurch wird der sagittale Durchmesser fast unverändert erhalten, während der transversale schon bedeutend kürzer geworden ist.

Durch weiteres Zurückweichen der seitlichen Begrenzungslinien erhält die eben erwähnte Nase und ihre nächste Umgebung, die nicht an dem Zurückweichen beteiligt ist, mehr und mehr den Charakter eines Vorsprunges (32). Darauf beginnt auch die dorsale Abrundung zurückzugehen und sich abzuflachen. Der Vorsprung aber bleibt immer noch stehen und bekommt jetzt das Ansehen eines schiefen Kammes, der einem etwa elliptischen Querschnitt aufgesetzt ist (27).

Durch eine einseitige ventrale Abrundung nimmt der Querschnitt nach und nach Flaschenform an, deren Achse einen Winkel von etwa 30° mit der Sagittalen bildet (20).

Nunmehr beginnt der Bauch der Flasche anzuschwellen, der Vorsprung verliert dadurch immer mehr an Bedeutung, ohne tatsächlich kleiner zu werden, bis er schließlich ganz verschwunden ist und das Ganze eine unregelmäßige rundliche Gestalt annimmt (13).

Die Fig. 2 stellt ein Femur von etwa 422 mm Länge dar. Er ist ebenfalls kräftig gebaut und weist eine sehr starke Krümmung auf.

Der erste Querschnitt hat die Gestalt eines Eies, dem dorsal ein schiefer, stumpfer Kegel aufgesetzt ist (40).

Dieser Kegel verschiebt sich dann nach innen, bis seine Spitze ungefähr über der Mitte des Querschnittes steht, und da seitlich Abflachungen entstehen, nimmt das Ganze die Gestalt eines Dreieckes an mit zwei stark abgerundeten Ecken (36).

Nunmehr beginnen auch hier wieder die dorsalen Umrißlinien mit Ausnahme der Spitze und deren Umgebung zurückzuweichen.

Es entsteht so ein Raum, der dem Querschnitt den Eindruck einer Flasche mit schiefem Halse gibt (32). Diese Form erhält sich dann längere Zeit ziemlich unverändert (32 bis 22).

Darauf beginnt eine Anschwellung zuerst der äußeren, dann der inneren Partien der Umrißlinien. Die Spitze verliert dadurch wesentlich an Bedeutung, so daß nach kurzer Zeit die Gestalt einer halben Ellipse entsteht, deren große Achse unten etwa 45° zur Sagittalen von außen nach innen läuft (19).

Die Krümmung der Kurve läßt dann nach, und damit geht Hand in Hand ein kräftiges Wachstum an der ventralen inneren Ecke (15). Bald nimmt auch die dorsale Spitze an diesem Wachstum teil, und es entsteht dann durch eine plötzliche starke Ausstülpung der dorsalen inneren Fläche der pilzförmige Querschnitt 10.

Fig. 3 zeigt ein Femur von 460 mm Länge. Er ist nur schwach gekrümmt und sehr schlank. Die Crista ist nur wenig ausgebildet.

Die Grundfläche ist der in Fig. 1 dargestellten sehr ähnlich, aber viel kleiner. Durch weitere starke Abrundung entsteht der Schnitt 37. Er erscheint als ein Kreis mit ventraler und innerer Ausbauchung. Diese geht nach und nach zurück, und gleichzeitig tritt eine dorsale Spitze dadurch hervor, daß zu ihren Seiten Abflachungen entstehen. Es wird so eine fast kreisförmige Figur mit leichter ventraler Abflachung und dorsal aufgesetzter Spitze gebildet (30).

Danach tritt ventral eine Anschwellung hervor, so daß Schnitt 16 sich fast mit Schnitt 35 deckt. Er hat nur eine geringe Tiefenausdehnung.

In Fig. 4 ist ein schwächlich gekrümmtes Femur dargestellt, dessen Länge 431 mm beträgt. Der Schaft ruht auf einem annähernd gleichseitigen Dreieck, dessen Ecken jedoch verschieden stark abgerundet sind. Darauf nähert sich die Form des Querschnittes einem Kreis (36). An der dorsalen Seite tritt dann außen und innen eine Abflachung ein, und dadurch wird die Querschnittsfigur stumpfbirnförmig (31). Diese Form bleibt jetzt längere Zeit bestehen, doch nimmt die Abflachung auf beiden Seiten, besonders aber auf der äußeren Seite, immer mehr zu (bis 25). Bis 17 bleibt dann der Querschnitt unverändert, darauf tritt eine seitliche Anschwellung nach außen ein (18).

Diese Anschwellung erreicht dann nach kurzer Zeit die Höhe der seitherigen Spitze und läßt zwischen dieser und sich ein Tal entstehen (14)

Mit fortschreitendem Wachstum der Anschwellung wird das Tal flacher, bis es nahezu verschwunden ist (10).

Zuletzt nimmt der Querschnitt die Gestalt einer Pflaume an.

Die Tafel V bringt in Fig. 4 und 5 die Femora zweier Kinder von $4^1/_2$ und 3 Jahren.

Das Femur des größeren Kindes, Fig. 4, hat eine Länge von 240 mm. Es zeigt bereits eine gute Entwickelung der Crista.

Der unterste Querschnitt hat die Gestalt eines beinahe gleichschenkligen Dreieckes mit stark abgerundeten Ecken, und zwar ist der eine Schenkel auf der dorsalen Seite (23). Infolge der zunehmenden Abrundung erscheint der Querschnitt bald als ein über der dorsalen Basis geschlagener Halbkreis (20). Dieser wird zunächst kleiner (19) und nimmt dann die Gestalt eines einseitig abgeflachten Kreises an (18). Durch eine zweite Abflachung, zwischen denen ein Teil stehen bleibt, entsteht eine Ellipse mit dorsal aufgesetzter Spitze (17). Durch weitere Verjüngung und Abflachung auch an der ventralen Seite wird die Querschnittsfigur in ein gleichseitiges Dreieck umgewandelt (14).

Die dorsale Spitze dieses Dreieckes verschiebt sich dann nach innen (12), und darauf beginnt eine Abnahme der transversalen Ausdehnung (bis 9). Später wächst dann der Querschnitt durch seitliche Ausbauchungen (7), bis er eine einseitig abgeflachte Kreisform erreicht hat (4).

Die Fläche wird dann rasch größer und nimmt schließlich die Gestalt eines noch nicht entwickelten Champignons an (1).

Das zweite Femur, Fig. 5, hat eine Länge von nur 197 mm. Der Schaft ruht hier auf einer Fläche von der Gestalt eines stumpfwinkligen Dreieckes, dessen Basis dorsal gelegen ist (23). Die Fläche wird zunächst kleiner, ohne daß ihre Gestalt wesentliche Änderung erleidet (20). Sie nimmt dann die Form einer Ellipse an, die erst flach ist (18), später mehr rundlich wird (16). In der Mitte des Femur (12) zeigt sich dann ein fast kreisförmiger Querschnitt, der aber nur wenig weiter oben wieder elliptisch wird. Es liegt aber jetzt der große Durchmesser in einem Winkel von etwa 30° zur Transversalen (10).

Nunmehr beginnt der Querschnitt erst lang-

sam, später schneller zu wachsen, doch bleibt seine Form noch einige Zeit die gleiche (5). Beim nächsten Schnitt zeigt sich eine dorsale Ausbuchtung (4), dadurch wird eine Flaschenform hervorgerufen (3). Aus dieser entwickelt sich dann der letzte Querschnitt von unregelmäßiger fünfeckiger Gestalt. Die starke Krümmung am oberen (proximalen) Teile dieses Femur ist möglicherweise auf eine überstandene leichte Rachitis zurückzuführen, doch zeigt das Skelet sonst keine Spuren von Rachitis.

II. Affen- und Halbaffen-Femora.

Zu Tafel VI.

Außer den menschlichen Femora wurden die Femora folgender Affen und Halbaffen untersucht:

Orang-Utan ♀	Sumatra.
„ „ ♂	Borneo.
Gorilla.	Afrika.
Gibbon, Hylobates lar. Illig . .	Indien.
Indri, Lichanotus Indri Sonn., brevicaudatus Geoffr. . . .	Madagaskar.

Orang-Utan ♀.

Tafel VI, Fig. 1, zeigt die Querschnitte eines weiblichen Orang. Die Grundfläche wird ventral von einem Kreisbogen, dorsal durch eine flachere unregelmäßige Kurve begrenzt, die an die halbe Umrißlinie eines Pantoffels erinnert (39).

Nachdem die dorsale Einstülpung verschwunden ist, rundet sich die Figur allmählich zu einer schiefen Eiform ab (35). Durch weitere Abrundung geht dann die Form in eine den Kreis sehr nahe stehende Ellipse über (30), deren größte Achse transversal liegt. Diese Gestalt bleibt lange Zeit erhalten, doch tritt später eine leichte ventrale Abflachung ein (19).

Weiter oben bildet sich dann eine seitliche Ausbuchtung aus (14), durch deren Anwachsen eine flache, etwas gequetschte Ellipse entsteht (10).

Bei diesen Querschnitten zeigt sich die erwähnte interessante Tatsache, daß sie der Form und dem Inhalte nach fast mit den menschlichen Querschnitten übereinstimmen; aber durch die Stellung erhalten sie eine wesentlich verschiedene Bedeutung. Beim Menschen ist die größte Ausdehnung eine sagittale und beim Orang eine transversale (vgl. Fig. 4).

Orang-Utan ♂.

Das nächste Femur, Tafel VI, Fig. 2, das eines männlichen Orang, zeigt als Grundfläche des Schaftes ein beinahe gleichschenkliges, stumpfwinkliges Dreieck mit dorsaler Basis (40). Durch ungleiche Verjüngung der ganzen Figur entsteht eine schräg gestellte Ellipse mit seitlicher Ausbauchung (34). Die größte Ausdehnung liegt auch hier im Gegensatz zum Menschen in transversaler Richtung.

Hieraus entsteht durch Abrundung eine etwas gedrückte Ellipse mit transversaler großer Achse (29). Bei gleichbleibender Fläche wird jetzt durch seitliche Abflachung die sagittale Ausdehnung etwas vergrößert, ohne jedoch die transversale zu erreichen (23).

Es entwickelt sich dann eine rundliche, nach der Seite und ventral etwas ausgezogene Figur (21). Durch dorsoventrale und seitliche Abflachungen entsteht an der gleichen Seite eine zweite Ausbauchung, die zwischen sich und der bereits vorhandenen einen Sattel entstehen läßt (16). Die seitlich-dorsale Ausbuchtung wächst nun immer stärker, während die ventrale zurückgeht. Es entsteht eine schiefe Birnform (13), aus der sich durch Abflachung ein Dreieck mit dorsaler Basis entwickelt (91). Nun tritt an der einen dorsalen Ecke ein Wachstum ein, wodurch das Dreieck unter starker Vergrößerung der Fläche stumpfwinklig wird.

Gorilla.

Tafel VI, Fig. 3 stellt das Femur des Gorilla dar. Es ist der bei weitem kräftigste aller untersuchten Knochen. Bei einer Länge von 392 mm hat es in der Mitte einen Querschnitt von 7,4 qcm.

Der unterste Schnitt ergibt eine aus zwei mit ihren großen Achsen zusammengesetzte Ellipse bestehende Figur, deren transversaler Durchmesser mehr als doppelt so groß wie der sagittale ist.

Es beginnt dann eine Verminderung des Flächeninhaltes, hauptsächlich auf Kosten der transversalen Ausdehnung. Die Form des Querschnittes nähert sich dadurch einer Ellipse

deren Durchmesser sich etwa wie 2 : 3 verhalten (32). Später (27) tritt dann eine dorsale Ausbauchung ein, die aber einem Vergleich mit der Querschnittserweiterung menschlicher Femora nicht standhält. Die Figur nimmt dann eine rundlich-dreieckige Gestalt an (22), die sich später zu einer dorsal etwas ausgebauchten Eiform entwickelt (15). Aus dieser entsteht dann schließlich die unregelmäßige trapezförmige Figur des obersten Schnittes (10).

Hylobates.

Es folgen jetzt die zierlichen Femora des Hylobates und des Indri.

Der Hylobates, Tafel VI, Fig. 4, hat ein äußerst schlankes Femur, bei 217 mm Länge nur 0,65 qcm Querschnitt in der Mitte.

Die Grundfläche ist ein dorsal ein wenig abgeflachter Kreis (37). Diese Abflachung verliert sich dann, und an ihre Stelle tritt eine ganz leichte Ausbauchung (16). Später entwickelt sich daraus eine ungleichseitig linsenförmige Gestalt (18), die sich im weiteren Verlauf einer Ellipse mit sagittaler großer Achse nähert.

Indri.

Auch von dem Indri, einem oft die aufrechte Stellung einnehmenden Halbaffen, wurde das Femur untersucht, Tafel VI, Fig. 5.

Der Knochen ist 243 mm lang und hat in der Mitte einen Querschnitt von 0,95 qcm.

Der unterste Querschnitt ist von rundlich-eiförmiger Gestalt (26). Durch seitliche Ausstülpung an der ventralen Seite entsteht eine becherförmige Gestalt (20). Hieraus entwickelt sich dann eine etwas abgeflachte Kreisform (16), die sich kurz darauf völlig abrundet (13). Es beginnt dann ein Wachstum in einer ziemlich genau zwischen sagittal und transversal liegenden Richtung (9). Kurz darauf aber nimmt der Querschnitt die Gestalt einer transversal liegenden Ellipse an (6). Im obersten Schnitt erscheint dann plötzlich eine dorsal-seitliche Ausstülpung, die ihm eine mehr dreieckige Form gibt.

III. Die Femora von Neandertal und Spy.

Zu Tafel V, Fig. 1 bis 3.

Zum Schluß kommen dann noch die Femora von zwei anthropologisch interessanten Funden, zunächst die beiden Femora aus dem Neandertal.

Das rechte Femur, Fig. 1, hat eine Länge von 440 mm. Der Schaft ruht auf einer elliptisch ventral ausgebauchten Grundfläche (40). Die Querschnitte runden sich nach und nach ab und verlieren dadurch an transversaler Ausdehnung. Es entsteht so eine rundlich-viereckige Gestalt (35). Durch weitere Abrundung kommt die Figur einem Kreis sehr nahe (29). Es zeigt sich dann eine anfangs kleine (26), später wachsende Spitze auf der dorsalen Seite (24). Darauf beginnt dorsal eine Anschwellung, die die Spitze schließlich aufnimmt (19). Der Schaft hat jetzt wieder einen fast runden Querschnitt (18). Diese Form geht durch seitliche Ausbauchung in eine etwas schiefe Birnform über (12). Zuletzt entsteht dann noch auf der dorsalen Seite ein kräftiger Höcker (10).

Das linke Femur, Fig. 2, Länge 441 mm, hat eine ähnliche Grundfläche wie das rechte. Es entwickelt sich daraus durch Verkleinerung der transversalen Ausdehnung eine Apfelform (36). Diese geht durch weitere transversale Schrumpfungen in eine rundlich-eiförmige Gestalt über (30). Es beginnt dann eine leichte dorsale Zuschärfung, wodurch der sagittale Durchmesser noch mehr zur Vorherrschaft kommt (29). Später verkürzt er sich wieder, und der Querschnitt wird dadurch fast kreisförmig mit leichter dorsaler Spitze (22). Darauf beginnt der transversale Durchmesser zu wachsen, und dadurch entsteht dann ein pflaumenförmiger Querschnitt (17).

Durch seitliche Ausstülpung tritt dann eine Vergrößerung der Fläche ein (13), die bis zum obersten Querschnitt anhält (10).

Das letzte Femur ist das in Spy, Fig. 3, gefundene. Der Knochen hat eine Länge von 426 mm und dabei einen mittleren Querschnitt von 6,5 qcm.

Der unterste Schnitt ergibt eine stark abgerundete Dreieckform (42). Diese geht durch Verkleineruug des Querschnittes bald in eine schief-apfelförmige Figur über (38). Hieraus entwickelt sich dann eine kreisförmige Gestalt mit dorsaler Spitze (34). Die Spitze tritt später stärker hervor (29) und zieht ein sagittales Wachstum nach sich (19). Später

kommt dann noch eine Ausdehnung nach der Seite hinzu, und dadurch entsteht eine schief abgeschnittene Ellipse (14). Der höchste Querschnitt ist eiförmig mit einer seitlichen Ausstülpung.

Zusammenfassung.

1. Die menschlichen Femora zeigen alle einen unter sich ähnlichen, mehr oder weniger dem Dreieck sich nähernden Gesamtquerschnitt. Es tritt dann bald eine dorsale Ausstülpung des Querschnittes ein, die in der Mitte des Knochens ihre größte Ausdehnung erreicht. Sie ist oft von bedeutender Größe und bewirkt eine kammartige Bildung am Schaft des Femur (Crista). In dem oberen Querschnitte verschwindet sie nach und nach.

2. Bei den Affen ist die Form des Querschnittes oval. Eine dorsale Ausbauchung ist nicht vorhanden, dagegen bisweilen eine laterale.

3. Es können beim Menschen und den Affen gleiche Querschnittfiguren vorkommen, sie unterscheiden sich dann aber durch ihre Stellung. Beim Menschen liegt die größte Ausdehnung, der mittlere Schnitt, in sagittaler, beim Affen in transversaler Richtung.

4. Die Querschnitte der Femora von Neandertal und Spy zeigen dieselben Figuren wie die der jetzigen Menschen.

5. Die jugendlichen Femora des Menschen zeigen in ihrem unteren Querschnitte, durch die bedeutende transversale Ausdehnung, eine Ähnlichkeit mit den Femora von Gorilla und Orang.

Funktion des Femur.

Die Gestalt des Femur und ihr Unterschied beim Menschen und den Affen lassen sich auf die Funktion des Femur zurückführen.

Die Hauptaufgabe des Femur ist die Unterstützung des stehenden Körpers. Andere Funktionen, wie das Tragen des freien Beines während des Gehens u. a., kommen dagegen wegen der geringen Kräfte, die dabei zur Wirkung kommen, nicht in Betracht. Auch ist zu berücksichtigen, daß die Muskeln, Sehnen und Bänder einen erheblichen Teil etwa auftretender Zugkräfte aufnehmen können, während Druckkräfte allein durch den Knochen aufgenommen werden.

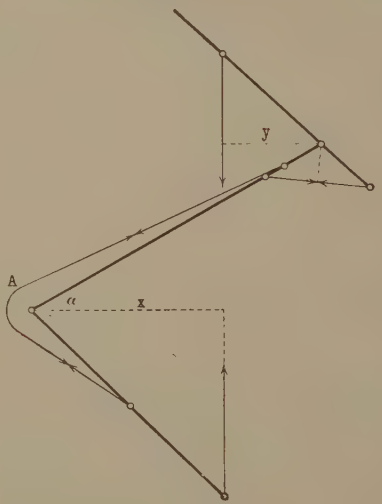
Zur Beurteilung der Kräfte betrachtet man den Körper während des Ganges, und zwar für den Augenblick, in welchem der Körper nur durch ein Bein unterstützt ist.

Es möge gestattet sein, zunächst den Gang des Tieres zu erörtern, und zwar vorläufig unter der Annahme, daß nur die Hinterbeine benutzt werden.

Fig. 6 zeigt eine derartige Stellung im Schema. Der Körper ist im Gleichgewicht, die Schwerpunktachse geht also durch den Fuß.

Der Körper wird nun dadurch in der aufrechten Stellung erhalten, daß der Rumpf, der

Fig. 6.



Ober- und der Unterschenkel durch die Gelenke miteinander verbunden sind und durch die Muskulatur in ihrer Lage erhalten werden.

Zur Ermittelung der auftretenden Kräfte stellt man die Momentengleichungen für die verschiedenen Drehpunkte auf.

Der Rumpf, der für diese Betrachtung als starrer Körper angesehen wird, ist mit dem Oberschenkel durch das Hüftgelenk verbunden. Hier treten folgende Drehmomente auf: Das Gewicht des Körpers (in seinem Schwerpunkt vereinigt gedacht) wirkt am Hebelarm y und will den Rumpf nach links drehen, dem wirkt die Muskelkraft S_1 am Hebelarm x_1 entgegen. Da nun Gleichgewicht herrscht, muß

$$Q \cdot y = S_1 \cdot z \text{ sein oder } S_1 = \frac{Q \cdot y}{z_1}.$$

In gleicher Weise halten sich am Kniegelenk $Q \cdot x$ und $S_2 \cdot z_2$ im Gleichgewicht.

Es ist also

$$Q \cdot x = S_2 \cdot z_2, \text{ also } S_2 = \frac{Q \cdot x}{z_2}.$$

Somit sind die Kräfte der beiden großen Muskelgruppen am Oberschenkel, nämlich die des Glutaeus (S_1) und des Femoralis (S_2), bestimmt.

Um den vom Femur aufzunehmenden Druck zu bestimmen, denkt man sich den Punkt A als Drehpunkt. Auch hier wirkt wieder das Gewicht des Körpers, und zwar am Hebelarm

$$x + z_2 \cdot \sin \alpha,$$

dem wirkt entgegen der im Femur herrschende Druck am Hebelarm z_2.

Es ist also

$$Q \cdot (x + z_2 \sin \alpha) = T \cdot z_2,$$

demnach ist

$$T = \frac{Q (x + z_2 \sin \alpha)}{z_2}.$$

Damit sind die am Femur wirkenden Kräfte ermittelt.

Beim Menschen ist die Anordnung ziemlich dieselbe, jedoch wird hier der Winkel α etwa 90^0, das heißt, das Femur des Menschen steht nahezu senkrecht.

Aus diesem Umstande ergeben sich dann folgende bedeutende Unterschiede:

Während bei den Tieren zur Unterstützung des Körpers eine dauernde starke Anspannung der Muskeln, also leicht ermüdender Körperteile notwendig ist, wird das Gewicht des Menschen bei durchgedrückten Knien fast ohne Mitwirkung der Muskeln allein vom Femur und der Gelenkkapsel aufgenommen, die der Ermüdung fast nicht ausgesetzt sind.

Gerade dieser Umstand ist wohl die Hauptursache, daß der Affe, der ja nie mit geraden Knien geht, den Versuch, nur auf den Hinterbeinen zu gehen, stets nach kurzer Zeit wieder aufgibt und die Arme zur Unterstützung des Körpers heranzieht, denn hierdurch wird eine wesentliche Erleichterung für die Muskulatur des Beines herbeigeführt. Erstens wird der auf die Beine entfallende Teil des Körpergewichtes kleiner, und zweitens wird durch die Verlegung des Schwerpunktes die Spannung der Muskeln unter Umständen sehr wesentlich verändert.

Fiele z. B. in Fig. 6 die Schwerpunktachse durch das Knie, so würde $x = 0$, also würde auch

$$S_2 = \frac{Q \cdot x}{z_2} = 0,$$

das heißt, der Femoralis wäre in Ruhe.

Aber nicht nur die Muskeln werden bei durchgedrückten Knien weniger angestrengt, auch der Knochen wird bedeutend entlastet.

Während nämlich beim Menschen der Knochen nur das einfache Gewicht zu tragen hat, beträgt der Druck beim Tier

$$T = Q \cdot \frac{x + z_2 \sin \alpha}{z_2}.$$

Er ist also beim Gehen nur auf den Hinterbeinen meist größer als Q und kann bisweilen Q um ein Beträchtliches überschreiten.

Die Größe der Kräfte ist aber nicht allein ausschlaggebend für die Gestalt des Femur. In höherem Maße sind die Richtung und die Angriffspunkte von Einfluß.

Setzt man in der Figur 6 statt der Linie ein wirkliches Femur ein, so weicht dieses nicht unwesentlich von der Geraden ab. Mit anderen Worten, die Richtung der Druckkraft fällt nicht mit der Mittellinie des Knochens zusammen.

In seiner Vorderansicht erscheint das Femur nur als eine Stange, der das Collum in Form einer Strebe aufgesetzt ist, Fig. 7.

Wirkt nun das Körpergewicht auf den Schenkelkopf, so läßt sich diese Kraft zerlegen, in eine Komponente in Richtung des Collum und eine andere senkrecht dazu. Diese zweite Kraft sucht das Collum abzubiegen. Es wirken ihr jedoch die Zugkraft P und die Druckkraft S entgegen. Dadurch wird das Collum in seiner Lage erhalten.

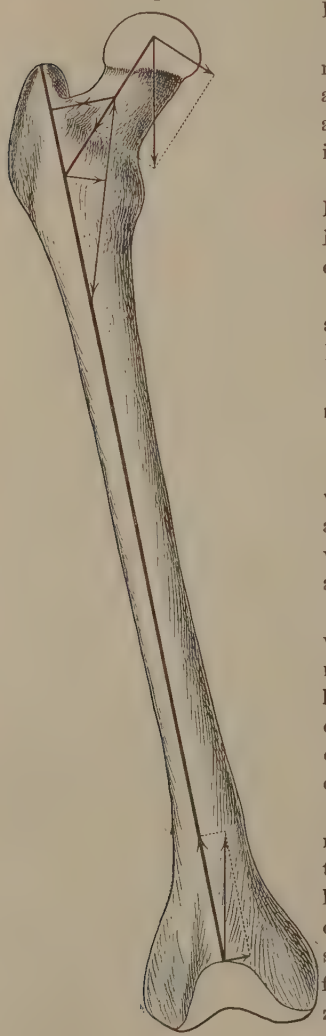
Auf den Schaft des Femur wirken demnach die Zugkraft S und die Druckkraft P_1 und P. Es kommt aber auch der Gegendruck der Unterlage, hier des Kniegelenkes, hinzu, der gleich dem Körpergewicht ist.

Zerlegt man nun alle diese Kräfte in Komponenten in der Richtung des Schaftes und senkrecht dazu, so erkennt man, daß der Schaft innerhalb der transversalen Ebene eine Durchbiegung nach außen erfährt. Hierdurch wird

eine bedeutende Ausgestaltung des transversalen Durchmessers bedingt.

Die Vergrößerung des Querschnittes an den Enden, besonders am Unterende des Femur, wie Herr Dr. Bumüller meint, hat damit nichts zu tun, denn eine Erweiterung des Querschnittes müßte bei einem auf Biegung beanspruchten Stab in der Mitte und nicht an den Enden eintreten. Die Querschnittserweiterung hat vielmehr ganz andere Ursachen. Erstens kann der Gelenkknorpel nicht denselben Druck pro Flächeneinheit wie der Knochen aushalten, das Gewicht muß daher auf eine größere Fläche verteilt werden. Zweitens müssen die Gelenkflächen, um eine Bewegung zu ermöglichen, aufeinander gleiten können. Es müssen also die tragfähigen Gelenkflächen bedeutend größer sein, als zur einfachen Unterstützung notwendig wäre. Ihre Größe ist natürlich abhängig von der Beweglichkeit des betreffenden Gelenkes. Einen weiteren Unterschied zwischen der schematischen Darstellung und der Wirklichkeit ergibt die Betrachtung des in Fig. 6 eingesetzten Femur von der Seite.

Fig. 7.



Auch hier fällt die Richtung der Kraft nicht in die Mittellinie des Knochens. Das Femur zeigt nämlich eine dorsal offene Krümmung, die durch einen Druck noch vermehrt wird. Dieser einfache Fall entspricht den Verhältnissen beim Menschen. Es findet eine bedeutende Beanspruchung des Femur auf Biegung statt, und diese bedingt eine Verstärkung in sagittaler Richtung, die Crista. Die Größe dieser Verstärkung ist also abhängig von dem Maß der natürlichen Durchbiegung des Femur und von der Größe des relativen Körgergewichtes (P).

Hiermit ist auch das scheinbare regellose Auftreten der Crista erklärt.

Beim Affen dagegen wird die Wirkung dieses Druckes aufgehoben durch die Kräfte S_1 und S_2, welche beide den Knochen in entgegengesetzter Richtung durchzubiegen suchen. Daher fehlt beim Affen die Versteifung durch die Crista, welche beim Menschen oft bedeutende Ausdehnung erreicht.

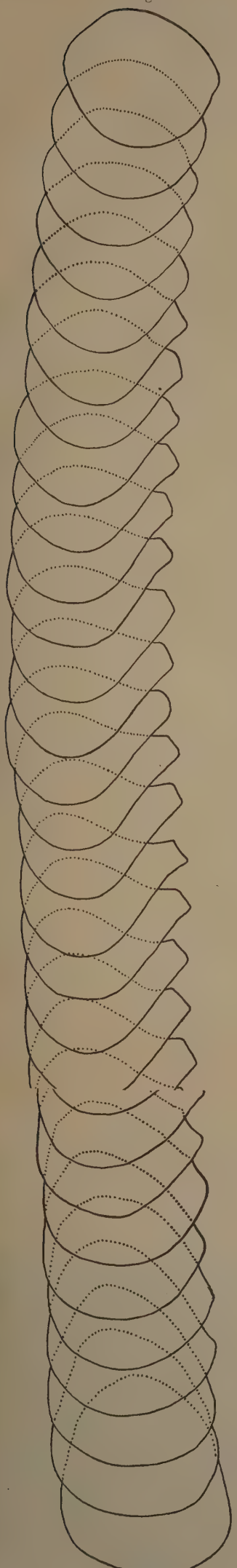
Dabei muß aber noch ein anderer Umstand beachtet werden, daß nämlich beim Menschen außer der sehr häufigen Belastung mit vollem Körpergewicht auch noch eine künstliche Erhöhung des Druckes dadurch entsteht, daß der Mensch Lasten trägt, die das eigene Körpergewicht erheblich übersteigen können.

Aus dem Umstande, daß beim Gehen mit krummen Knien die weitere Durchbiegung durch Muskeln verhindert wird, erklärt sich daß nur bei aufrecht gehenden Wesen die Cristabildung vorkommen kann.

Diese Erkenntnis aber führt zu dem Schlusse, daß ein Femur mit Crista nur einem aufrecht gehenden Wesen angehören kann.

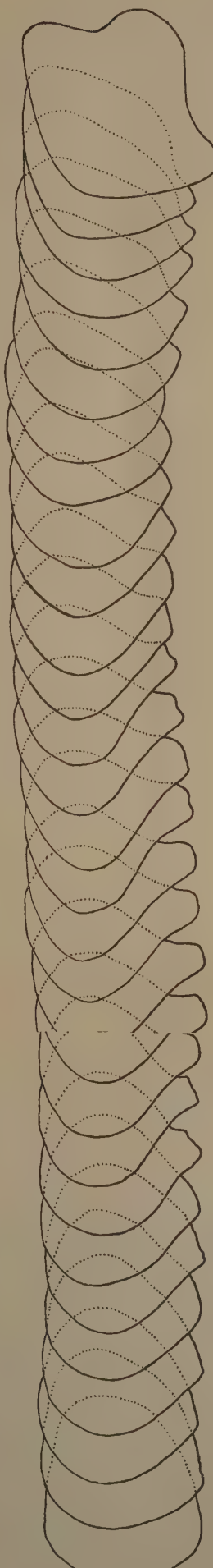
Nun zeigen aber die Femora aus dem Neandertal und Spy diese Crista sehr deutlich. Es ist somit ein Anhaltspunkt dafür gegeben, daß der Mensch aus dem Neandertal und Spy denselben aufrechten Gang hatte, wie die heutigen Menschen. Die Übereinstimmung der Funktion erklärt auch die große Ähnlichkeit der Femora von Neandertal und Spy mit denen der jetzt lebenden Menschen, denn weder die Form, noch die Größe der Querschnitte, noch die Größe der Durchbiegung ist außerhalb der menschlichen Schwankungsbreite gelegen.

Fig. 1.



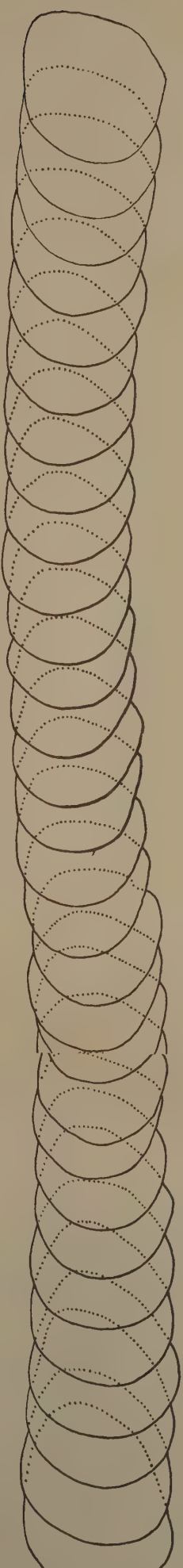
Mensch 1.

Fig. 2.



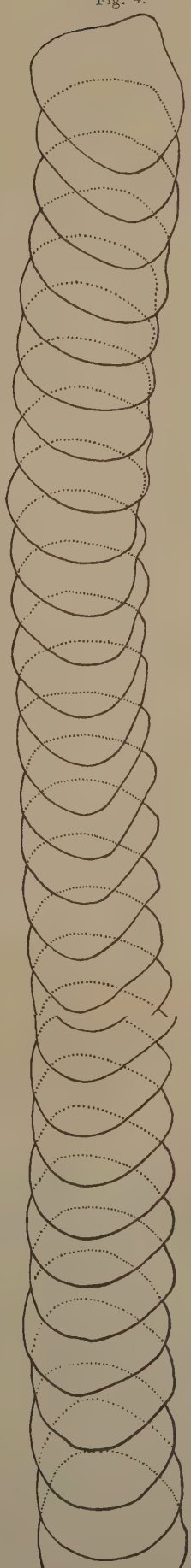
Mensch 2.

Fig. 3.



Mensch 4.

Fig. 4.



Mensch 5.

Querschnitt 10 bis 40 entsprechend den Tabellen II und III.

Fig. 1.

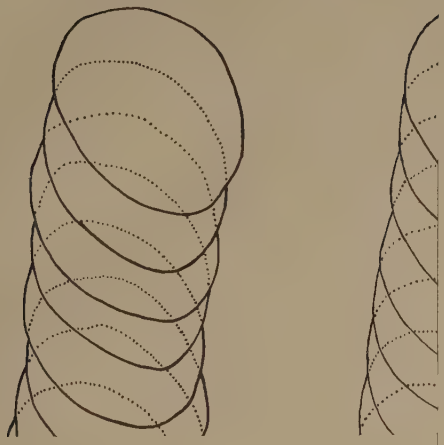
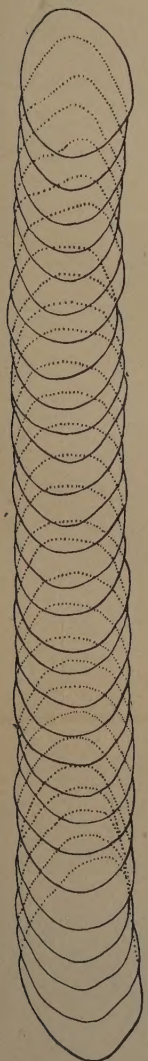
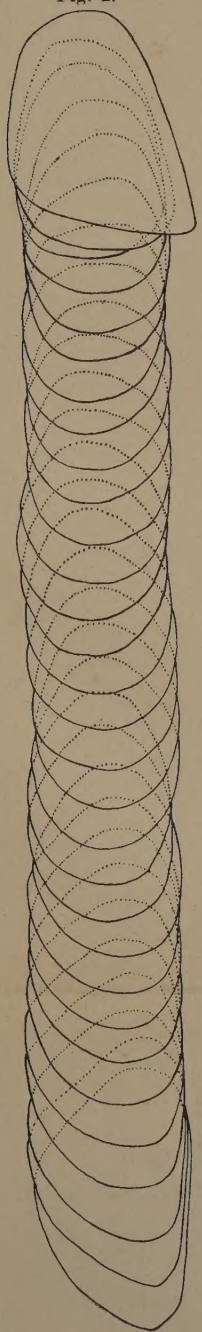


Fig. 1.



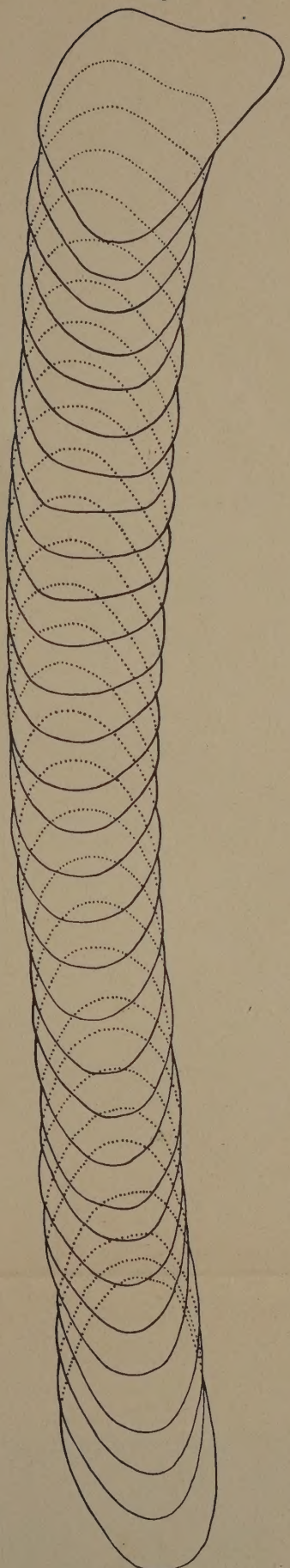
Orang ♀.

Fig. 2.



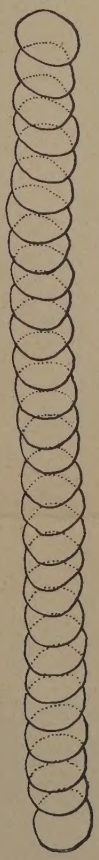
Orang ♂.

Fig. 3.



Gorilla.

Fig. 4.



Hylobates.

Fig. 5.

Indri.

Querschnitt 10 bis 40 entsprechend den Tabellen II und III.